下载APP

27｜即学即练：跟踪函数调用链，理解代码更直观

2021-12-22 Tony Bai

《Tony Bai · Go语言第一课》 课程介绍 >

讲述：Tony Bai
时长 22:00 大小 20.16M

你好，我是 Tony Bai。

时间过得真快！转眼间我们已经完成了这门课基础篇 Go 语法部分的学习。在这一部分中，我们从变量声明开始，一直学到了 Go 函数与方法的设计，不知道你掌握得怎么样呢？基础篇的重点是**对 Go 基础语法部分的理解**，只有理解透了，我们才能在动手实践的环节运用自如。

领资料

同时，基础篇也是整个课程篇幅最多的部分，想必学到这里，你差不多也进入了一个“疲劳期”。为了给你的大脑“充充电”，我在这一讲，也就是基础篇的最后一讲中安排了一个小实战项目，适当放松一下，也希望你在实现这个实战项目的过程中，能对基础篇所学的内容做一个回顾与总结，夯实一下 Go 的语法基础。

引子

在前面的第 23 讲中，我曾留过这样的一道思考题：“除了捕捉 panic、延迟释放资源外，我们日常编码中还有哪些使用 defer 的小技巧呢？”

这个思考题得到了同学们的热烈响应，有同学在留言区提到：**使用 defer 可以跟踪函数的执行过程**。没错！这的确是 defer 的一个常见的使用技巧，很多 Go 教程在讲解 defer 时也会经常使用这个用途举例。那么，我们具体是怎么用 defer 来实现函数执行过程的跟踪呢？这里，我给出了一个最简单的实现：

复制代码

```
// trace.go
package main

func Trace(name string) func() {
    println("enter:", name)
    return func() {
        println("exit:", name)
    }
}

func foo() {
    defer Trace("foo")()
    bar()
}

func bar() {
    defer Trace("bar")()
}

func main() {
    defer Trace("main")()
    foo()
}
```

在讲解这段代码的原理之前，我们先看一下这段代码的执行结果，直观感受一下什么是**函数调用跟踪**：

复制代码

```
enter: main
enter: foo
enter: bar
exit: bar
```

```
5 exit: foo
6 exit: main
```

我们看到，这个 Go 程序的函数调用的全过程一目了然地展现在了我们面前：程序按`main -> foo -> bar`的函数调用次序执行，代码在函数的入口与出口处分别输出了跟踪日志。

那这段代码是怎么做到的呢？我们简要分析一下。

在这段实现中，我们在每个函数的入口处都使用 defer 设置了一个 deferred 函数。根据第 23 讲中讲解的 defer 的运作机制，Go 会在 defer 设置 deferred 函数时对 defer 后面的表达式进行求值。

我们以 foo 函数中的`defer Trace("foo")()`这行代码为例，Go 会对 defer 后面的表达式`Trace("foo")()`进行求值。由于这个表达式包含一个函数调用`Trace("foo")`，所以这个函数会被执行。

上面的 Trace 函数只接受一个参数，这个参数代表函数名，Trace 会首先打印进入某函数的日志，比如：“`enter: foo`”。然后返回一个闭包函数，这个闭包函数一旦被执行，就会输出离开某函数的日志。在 foo 函数中，这个由 Trace 函数返回的闭包函数就被设置为了 deferred 函数，于是当 foo 函数返回后，这个闭包函数就会被执行，输出“`exit: foo`”的日志。

搞清楚上面跟踪函数调用链的实现原理后，我们再来看看这个实现。我们会发现这里还是有一些**“瑕疵”**，也就是离我们期望的“跟踪函数调用链”的实现还有一些不足之处。这里我列举了几点：

- 调用 Trace 时需手动显式传入要跟踪的函数名；
- 如果是并发应用，不同 Goroutine 中函数链跟踪混在一起无法分辨；
- 输出的跟踪结果缺少层次感，调用关系不易识别；
- 对要跟踪的函数，需手动调用 Trace 函数。

那么，这一讲我们的任务就是逐一分析并解决上面提出的这几点问题进行，经过逐步地代码演进，最终**实现一个自动注入跟踪代码，并输出有层次感的函数调用链跟踪命令行工**

具。

好，下面我们先来解决第一个问题。

自动获取所跟踪函数的函数名

要解决“调用 Trace 时需要手动显式传入要跟踪的函数名”的问题，也就是要让我们的 Trace 函数能够自动获取到它跟踪函数的函数名信息。我们以跟踪 foo 为例，看看这样做能给我们带来什么好处。

在手动显式传入的情况下，我们需要用下面这个代码对 foo 进行跟踪：

复制代码

```
1 defer Trace("foo")()
```

一旦实现了自动获取函数名，所有支持函数调用链跟踪的函数都只需使用下面调用形式的 Trace 函数就可以了：

复制代码

```
1 defer Trace()()
```

这种一致的 Trace 函数调用方式也为后续的自动向代码中注入 Trace 函数奠定了基础。那么如何实现 Trace 函数对它跟踪函数名的自动获取呢？我们需要借助 Go 标准库 runtime 包的帮助。

这里，我给出了新版 Trace 函数的实现以及它的使用方法，我们先看一下：

复制代码

```
1 // trace1/trace.go
2
3 func Trace() func() {
4     pc, _, _, ok := runtime.Caller(1)
5     if !ok {
6         panic("not found caller")
7     }
8
9     fn := runtime.FuncForPC(pc)
```

```
    name := fn.Name()

    println("enter:", name)
    return func() { println("exit:", name) }
}

func foo() {
    defer Trace()()
    bar()
}

func bar() {
    defer Trace()()
}

func main() {
    defer Trace()()
    foo()
}
```

在这一版 Trace 函数中，我们通过 runtime.Caller 函数获得当前 Goroutine 的函数调用栈上的信息，runtime.Caller 的参数标识的是要获取的是哪一个栈帧的信息。当参数为 0 时，返回的是 Caller 函数的调用者的函数信息，在这里就是 Trace 函数。但我们需要的是 Trace 函数的调用者的信息，于是我们传入 1。

Caller 函数有四个返回值：第一个返回值代表的是程序计数（pc）；第二个和第三个参数代表对应函数所在的源文件名以及所在行数，这里我们暂时不需要；最后一个参数代表是否能成功获取这些信息，如果获取失败，我们抛出 panic。

接下来，我们通过 runtime.FuncForPC 函数和程序计数器（PC）得到被跟踪函数的函数名称。我们运行一下改造后代码：

复制代码

```
enter: main.main
enter: main.foo
enter: main.bar
exit: main.bar
exit: main.foo
exit: main.main
```

我们看到，runtime.FuncForPC 返回的名称中不仅仅包含函数名，还包含了被跟踪函数所在的包名。也就是说，我们第一个问题已经圆满解决了。

接下来，我们来解决第二个问题，也就是当程序中有多 Goroutine 时，Trace 输出的跟踪信息混杂在一起难以分辨的问题。

增加 Goroutine 标识

上面的 Trace 函数在面对只有一个 Goroutine 的时候，还是可以支撑的，但当程序中并发运行多个 Goroutine 的时候，多个函数调用链的出入口信息输出就会混杂在一起，无法分辨。

那么，接下来我们还继续对 Trace 函数进行改造，让它支持多 Goroutine 函数调用链的跟踪。我们的方案就是**在输出的函数出入口信息时，带上一个在程序每次执行时能唯一区分 Goroutine 的 Goroutine ID。**

到这里，你可能会说，Goroutine 也没有 ID 信息啊！的确如此，Go 核心团队为了避免 Goroutine ID 的滥用，故意没有将 Goroutine ID 暴露给开发者。但在 Go 标准库的 h2_bundle.go 中，我们却发现了一个获取 Goroutine ID 的标准方法，看下面代码：

复制代码

```
// $GOROOT/src/net/http/h2_bundle.go
var http2goroutineSpace = []byte("goroutine ")

func http2curGoroutineID() uint64 {
    bp := http2littleBuf.Get().(*[]byte)
    defer http2littleBuf.Put(bp)
    b := *bp
    b = b[:runtime.Stack(b, false)]
    // Parse the 4707 out of "goroutine 4707 ["
    b = bytes.TrimPrefix(b, http2goroutineSpace)
    i := bytes.IndexByte(b, ' ')
    if i < 0 {
        panic(fmt.Sprintf("No space found in %q", b))
    }
    b = b[:i]
    n, err := http2parseUintBytes(b, 10, 64)
    if err != nil {
        panic(fmt.Sprintf("Failed to parse goroutine ID out of %q: %v", b, err
    }
    return n
}
```

不过，由于 http2curGoroutineID 不是一个导出函数，我们无法直接使用。我们可以把它复制出来改造一下：

复制代码

```
// trace2/trace.go
var goroutineSpace = []byte("goroutine ")

func curGoroutineID() uint64 {
    b := make([]byte, 64)
    b = b[:runtime.Stack(b, false)]
    // Parse the 4707 out of "goroutine 4707 ["
    b = bytes.TrimPrefix(b, goroutineSpace)
    i := bytes.IndexByte(b, ' ')
    if i < 0 {
        panic(fmt.Sprintf("No space found in %q", b))
    }
    b = b[:i]
    n, err := strconv.ParseUint(string(b), 10, 64)
    if err != nil {
        panic(fmt.Sprintf("Failed to parse goroutine ID out of %q: %v", b, err
    }
    return n
}
```

这里，我们改造了两个地方。一个地方是通过直接创建一个 byte 切片赋值给 b，替代原 http2curGoroutineID 函数中从一个 pool 池获取 byte 切片的方式，另外一个是使用 strconv.ParseUint 替代了原先的 http2parseUintBytes。改造后，我们就可以直接使用 curGoroutineID 函数来获取 Goroutine 的 ID 信息了。

好，接下来，我们在 Trace 函数中添加 Goroutine ID 信息的输出：

复制代码

```
// trace2/trace.go
func Trace() func() {
    pc, _, _, ok := runtime.Caller(1)
    if !ok {
        panic("not found caller")
    }

    fn := runtime.FuncForPC(pc)
    name := fn.Name()
```

```
    gid := curGoroutineID()
    fmt.Printf("g[%05d]: enter: [%s]\n", gid, name)
    return func() { fmt.Printf("g[%05d]: exit: [%s]\n", gid, name) }
}

```

从上面代码看到，我们在出入口输出的跟踪信息中加入了 Goroutine ID 信息，我们输出的 Goroutine ID 为 5 位数字，如果 ID 值不足 5 位，则左补零，这一切都是 Printf 函数的格式控制字符串“%05d”帮助我们实现的。这样对齐 Goroutine ID 的位数，为的是输出信息格式的一致性更好。如果你的 Go 程序中 Goroutine 的数量超过了 5 位数可以表示的数值范围，也可以自行调整控制字符串。

接下来，我们也要对示例进行一些调整，将这个程序由单 Goroutine 改为多 Goroutine 并发的，这样才能验证支持多 Goroutine 的新版 Trace 函数是否好用：

复制代码

```
// trace2/trace.go
func A1() {
    defer Trace()()
    B1()
}

func B1() {
    defer Trace()()
    C1()
}

func C1() {
    defer Trace()()
    D()
}

func D() {
    defer Trace()()
}

func A2() {
    defer Trace()()
    B2()
}
func B2() {
    defer Trace()()
    C2()
}
func C2() {
    defer Trace()()
```

```
    D()
}

func main() {
    var wg sync.WaitGroup
    wg.Add(1)
    go func() {
        A2()
        wg.Done()
    }()

    A1()
    wg.Wait()
}
```

新示例程序共有两个 Goroutine，main groutine 的调用链为`A1 -> B1 -> C1 -> D`，而另外一个 Goroutine 的函数调用链为`A2 -> B2 -> C2 -> D`。我们来看一下这个程序的执行结果是否和原代码中两个 Goroutine 的调用链一致：

复制代码

```
g[00001]: enter: [main.A1]
g[00001]: enter: [main.B1]
g[00018]: enter: [main.A2]
g[00001]: enter: [main.C1]
g[00001]: enter: [main.D]
g[00001]: exit: [main.D]
g[00001]: exit: [main.C1]
g[00001]: exit: [main.B1]
g[00001]: exit: [main.A1]
g[00018]: enter: [main.B2]
g[00018]: enter: [main.C2]
g[00018]: enter: [main.D]
g[00018]: exit: [main.D]
g[00018]: exit: [main.C2]
g[00018]: exit: [main.B2]
g[00018]: exit: [main.A2]
```

我们看到，新示例程序输出了带有 Goroutine ID 的出入口跟踪信息，通过 Goroutine ID 我们可以快速确认某一行输出是属于哪个 Goroutine 的。

但由于 Go 运行时对 Goroutine 调度顺序的不确定性，各个 Goroutine 的输出还是会存在交织在一起的问题，这会给你查看某个 Goroutine 的函数调用链跟踪信息带来阻碍。这

里我提供一个**小技巧**：你可以将程序的输出重定向到一个本地文件中，然后通过 Goroutine ID 过滤出（可使用 grep 工具）你想查看的 groutine 的全部函数跟踪信息。

到这里，我们就实现了输出带有 Goroutine ID 的函数跟踪信息，不过，你是不是也觉得输出的函数调用链信息还是不够美观，缺少层次感，体验依旧不那么优秀呢？至少我是这么觉得的。所以下面我们就来美化一下信息的输出形式。

让输出的跟踪信息更具层次感

对于程序员来说，缩进是最能体现出“层次感”的方法，如果我们将上面示例中 Goroutine 00001 的函数调用跟踪信息以下面的形式展示出来，函数的调用顺序是不是更加一目了然了呢？

复制代码

```
g[00001]:    ->main.A1
g[00001]:        ->main.B1
g[00001]:            ->main.C1
g[00001]:                ->main.D
g[00001]:                <-main.D
g[00001]:            <-main.C1
g[00001]:        <-main.B1
g[00001]:    <-main.A1
```

那么我们就以这个形式为目标，考虑如何实现输出这种带缩进的函数调用跟踪信息。我们还是直接上代码吧：

复制代码

```
// trace3/trace.go

func printTrace(id uint64, name, arrow string, indent int) {
    indents := ""
    for i := 0; i < indent; i++ {
        indents += "    "
    }
    fmt.Printf("g[%05d]:%s%s%s\n", id, indents, arrow, name)
}

var mu sync.Mutex
var m = make(map[uint64]int)

func Trace() func() {
    pc, _, _, ok := runtime.Caller(1)
```

```
    if !ok {
        panic("not found caller")
    }

    fn := runtime.FuncForPC(pc)
    name := fn.Name()
    gid := curGoroutineID()

    mu.Lock()
    indents := m[gid]    // 获取当前gid对应的缩进层次
    m[gid] = indents + 1 // 缩进层次+1后存入map
    mu.Unlock()
    printTrace(gid, name, "->", indents+1)
    return func() {
        mu.Lock()
        indents := m[gid]    // 获取当前gid对应的缩进层次
        m[gid] = indents - 1 // 缩进层次-1后存入map
        mu.Unlock()
        printTrace(gid, name, "<-", indents)
    }
}
```

在上面这段代码中，我们使用了一个 map 类型变量 m 来保存每个 Goroutine 当前的缩进信息：m 的 key 为 Goroutine 的 ID，值为缩进的层次。然后，考虑到 Trace 函数可能在并发环境中运行，根据我们在第 16 讲中提到的“map 不支持并发写”的注意事项，我们增加了一个 sync.Mutex 实例 mu 用于同步对 m 的写操作。

这样，对于一个 Goroutine 来说，每次刚进入一个函数调用，我们就在输出入口跟踪信息之前，将缩进层次加一，并输出入口跟踪信息，加一后的缩进层次值也保存到 map 中。然后，在函数退出前，我们取出当前缩进层次值并输出出口跟踪信息，之后再将缩进层次减一后保存到 map 中。

除了增加缩进层次信息外，在这一版的 Trace 函数实现中，我们也把输出出入口跟踪信息的操作提取到了一个独立的函数 printTrace 中，这个函数会根据传入的 Goroutine ID、函数名、箭头类型与缩进层次值，按预定的格式拼接跟踪信息并输出。

运行新版示例代码，我们会得到下面的结果：

复制代码

```
g[00001]:    ->main.A1
g[00001]:        ->main.B1
```

```
g[00001]:            ->main.C1
g[00001]:                ->main.D
g[00001]:                <-main.D
g[00001]:            <-main.C1
g[00001]:        <-main.B1
g[00001]:    <-main.A1
g[00018]:    ->main.A2
g[00018]:        ->main.B2
g[00018]:            ->main.C2
g[00018]:                ->main.D
g[00018]:                <-main.D
g[00018]:            <-main.C2
g[00018]:        <-main.B2
g[00018]:    <-main.A2
```

显然，通过这种带有缩进层次的函数调用跟踪信息，我们可以更容易地识别某个 Goroutine 的函数调用关系。

到这里，我们的函数调用链跟踪已经支持了多 Goroutine，并且可以输出有层次感的跟踪信息了，但对于 Trace 特性的使用者而言，他们依然需要手工在自己的函数中添加对 Trace 函数的调用。那么我们是否可以将 Trace 特性自动注入特定项目下的各个源码文件中呢？接下来我们继续来改进我们的 Trace 工具。

利用代码生成自动注入 Trace 函数

要实现向目标代码中的函数 / 方法自动注入 Trace 函数，我们首先要做的就是将上面 Trace 函数相关的代码打包到一个 module 中以方便其他 module 导入。下面我们就先来看看将 Trace 函数放入一个独立的 module 中的步骤。

将 Trace 函数放入一个独立的 module 中

我们创建一个名为 instrument_trace 的目录，进入这个目录后，通过 go mod init 命令创建一个名为 github.com/bigwhite/instrument_trace 的 module：

复制代码

```
$mkdir instrument_trace
$cd instrument_trace
$go mod init github.com/bigwhite/instrument_trace
go: creating new go.mod: module github.com/bigwhite/instrument_trace
```

接下来，我们将最新版的 trace.go 放入到该目录下，将包名改为 trace，并仅保留 Trace 函数、Trace 使用的函数以及包级变量，其他函数一律删除掉。这样，一个独立的 trace 包就提取完毕了。

作为 trace 包的作者，我们有义务告诉大家如何使用 trace 包。在 Go 中，通常我们会用一个 example_test.go 文件来编写使用 trace 包的演示代码，下面就是我们为 trace 包提供的 example_test.go 文件：

复制代码

```
// instrument_trace/example_test.go
package trace_test

import (
    trace "github.com/bigwhite/instrument_trace"
)

func a() {
    defer trace.Trace()()
    b()
}

func b() {
    defer trace.Trace()()
    c()
}

func c() {
    defer trace.Trace()()
    d()
}

func d() {
    defer trace.Trace()()
}

func ExampleTrace() {
    a()
    // Output:
    // g[00001]:    ->github.com/bigwhite/instrument_trace_test.a
    // g[00001]:        ->github.com/bigwhite/instrument_trace_test.b
    // g[00001]:            ->github.com/bigwhite/instrument_trace_test.c
    // g[00001]:                ->github.com/bigwhite/instrument_trace_test.d
    // g[00001]:                <-github.com/bigwhite/instrument_trace_test.d
    // g[00001]:            <-github.com/bigwhite/instrument_trace_test.c
    // g[00001]:        <-github.com/bigwhite/instrument_trace_test.b
    // g[00001]:    <-github.com/bigwhite/instrument_trace_test.a
}
```

在 example_test.go 文件中，我们用 ExampleXXX 形式的函数表示一个示例，go test 命令会扫描 example_test.go 中的以 Example 为前缀的函数并执行这些函数。

每个 ExampleXXX 函数需要包含预期的输出，就像上面 ExampleTrace 函数尾部那样，我们在一大段注释中提供这个函数执行后的预期输出，预期输出的内容从`// Output:`的下一行开始。go test 会将 ExampleTrace 的输出与预期输出对比，如果不一致，会报测试错误。从这一点，我们可以看出 example_test.go 也是 trace 包单元测试的一部分。

现在 Trace 函数已经被放入到独立的包中了，接下来我们就来看看如何将它自动注入到要跟踪的函数中去。

自动注入 Trace 函数

现在，我们在 instrument_trace module 下面增加一个命令行工具，这个工具可以以一个 Go 源文件为单位，自动向这个 Go 源文件中的所有函数注入 Trace 函数。

我们再根据05 讲中介绍的带有可执行文件的 Go 项目布局，在 instrument_trace module 中增加 cmd/instrument 目录，这个工具的 main 包就放在这个目录下，而真正实现自动注入 Trace 函数的代码呢，被我们放在了 instrumenter 目录下。

下面是变化后的 instrument_trace module 的目录结构：

复制代码

```
$tree ./instrument_trace -F
./instrument_trace
├── Makefile
├── cmd/
│   └── instrument/
│       └── main.go  # instrument命令行工具的main包
├── example_test.go
├── go.mod
├── go.sum
├── instrumenter/    # 自动注入逻辑的相关结构
│   ├── ast/
│   │   └── ast.go
│   └── instrumenter.go
└── trace.go
```

我们先来看一下 cmd/instrument/main.go 源码，然后自上而下沿着 main 函数的调用逻辑逐一看一下这个功能的实现。下面是 main.go 的源码：

复制代码

```
//  instrument_trace/cmd/instrument/main.go

... ...

var (
    wrote bool
)

func init() {
    flag.BoolVar(&wrote, "w", false, "write result to (source) file instead of
}

func usage() {
    fmt.Println("instrument [-w] xxx.go")
    flag.PrintDefaults()
}

func main() {
    fmt.Println(os.Args)
    flag.Usage = usage
    flag.Parse() // 解析命令行参数

    if len(os.Args) < 2 { // 对命令行参数个数进行校验
        usage()
        return
    }

    var file string
    if len(os.Args) == 3 {
        file = os.Args[2]
    }

    if len(os.Args) == 2 {
        file = os.Args[1]
    }
    if filepath.Ext(file) != ".go" { // 对源文件扩展名进行校验
        usage()
        return
    }

    var ins instrumenter.Instrumenter // 声明instrumenter.Instrumenter接口类型变

    // 创建以ast方式实现Instrumenter接口的ast.instrumenter实例
    ins = ast.New("github.com/bigwhite/instrument_trace", "trace", "Trace")
    newSrc, err := ins.Instrument(file) // 向Go源文件所有函数注入Trace函数
    if err != nil {
```

```
47          panic(err)
48      }
49
50      if newSrc == nil {
51          // add nothing to the source file. no change
52          fmt.Printf("no trace added for %s\n", file)
53          return
54      }
55
56      if !wrote {
57          fmt.Println(string(newSrc))   // 将生成的新代码内容输出到stdout上
58          return
59      }
60
61      // 将生成的新代码内容写回原Go源文件
62      if err = ioutil.WriteFile(file, newSrc, 0666); err != nil {
63          fmt.Printf("write %s error: %v\n", file, err)
64          return
65      }
66      fmt.Printf("instrument trace for %s ok\n", file)
67  }
```

作为命令行工具，instrument 使用标准库的 flag 包实现对命令行参数（这里是 -w）的解析，通过 os.Args 获取待注入的 Go 源文件路径。在完成对命令行参数个数与值的校验后，instrument 程序声明了一个 instrumenter.Instrumenter 接口类型变量 ins，然后创建了一个实现了 Instrumenter 接口类型的 ast.instrumenter 类型的实例，并赋值给变量 ins。

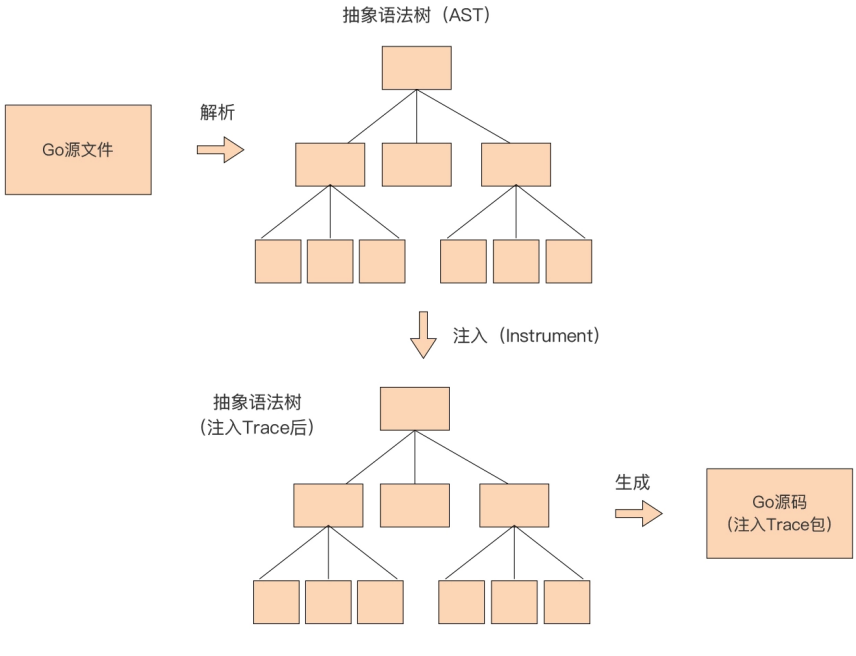
instrumenter.Instrumenter 接口类型的声明放在了 instrumenter/instrumenter.go 中：

复制代码

```
1  type Instrumenter interface {
2      Instrument(string) ([]byte, error)
3  }
```

这里我们看到，这个接口类型的方法列表中只有一个方法 Instrument，这个方法接受一个 Go 源文件路径，返回注入了 Trace 函数的新源文件内容以及一个 error 类型值，作为错误状态标识。我们之所以要抽象出一个接口类型，考虑的就是注入 Trace 函数的实现方法不一，为后续的扩展做好预留。

在这个例子中，我们默认提供了一种自动注入 Trace 函数的实现，那就是 ast.instrumenter，它注入 Trace 的实现原理是这样的：



从原理图中我们可以清楚地看到，在这一实现方案中，我们先将传入的 Go 源码转换为**抽象语法树**。

在计算机科学中，抽象语法树（abstract syntax tree，AST）是源代码的抽象语法结构的树状表现形式，树上的每个节点都表示源代码中的一种结构。因为 Go 语言是开源编程语言，所以它的抽象语法树的操作包也和语言一起开放给了 Go 开发人员，我们可以基于 Go 标准库以及 Go 实验工具库提供的 ast 相关包，快速地构建基于 AST 的应用，这里的 ast.instrumenter 就是一个应用 AST 的典型例子。

一旦我们通过 ast 相关包解析 Go 源码得到相应的抽象语法树后，我们便可以操作这棵语法树，并按我们的逻辑在语法树中注入我们的 Trace 函数，最后我们再将修改后的抽象语法树转换为 Go 源码，就完成了整个自动注入的工作了。

了解了原理后，我们再看一下具体的代码实现。下面是 ast.instrumenter 的 Instructment 方法的代码：

复制代码

```
1 // instrument_trace/instrumenter/ast/ast.go
2
```

```
func (a instrumenter) Instrument(filename string) ([]byte, error) {
    fset := token.NewFileSet()
    curAST, err := parser.ParseFile(fset, filename, nil, parser.ParseComments)
    if err != nil {
        return nil, fmt.Errorf("error parsing %s: %w", filename, err)
    }

    if !hasFuncDecl(curAST) { // 如果整个源码都不包含函数声明，则无需注入操作，直接返回
        return nil, nil
    }

    // 在AST上添加包导入语句
    astutil.AddImport(fset, curAST, a.traceImport)

    // 向AST上的所有函数注入Trace函数
    a.addDeferTraceIntoFuncDecls(curAST)

    buf := &bytes.Buffer{}
    err = format.Node(buf, fset, curAST) // 将修改后的AST转换回Go源码
    if err != nil {
        return nil, fmt.Errorf("error formatting new code: %w", err)
    }
    return buf.Bytes(), nil // 返回转换后的Go源码
}
```

通过代码，我们看到 Instrument 方法的基本步骤与上面原理图大同小异。Instrument 首先通过 go/paser 的 ParserFile 函数对传入的 Go 源文件中的源码进行解析，并得到对应的抽象语法树 AST，然后向 AST 中导入 Trace 函数所在的包，并向这个 AST 的所有函数声明注入 Trace 函数调用。

实际的注入操作发生在 instrumenter 的 addDeferTraceIntoFuncDecls 方法中，我们来看一下这个方法的实现：

复制代码

```
// instrument_trace/instrumenter/ast/ast.go

func (a instrumenter) addDeferTraceIntoFuncDecls(f *ast.File) {
    for _, decl := range f.Decls { // 遍历所有声明语句
        fd, ok := decl.(*ast.FuncDecl) // 类型断言：是否为函数声明
        if ok {
            // 如果是函数声明，则注入跟踪设施
            a.addDeferStmt(fd)
        }
    }
}
```

这个方法的逻辑十分清晰，就是遍历语法树上所有声明语句，如果是函数声明，就调用 instrumenter 的 addDeferStmt 方法进行注入，如果不是，就直接返回。addDeferStmt 方法的实现如下：

复制代码

```
// instrument_trace/instrumenter/ast/ast.go

func (a instrumenter) addDeferStmt(fd *ast.FuncDecl) (added bool) {
    stmts := fd.Body.List

    // 判断"defer trace.Trace()()"语句是否已经存在
    for _, stmt := range stmts {
        ds, ok := stmt.(*ast.DeferStmt)
        if !ok {
            // 如果不是defer语句，则继续for循环
            continue
        }

        // 如果是defer语句，则要进一步判断是否是defer trace.Trace()()
        ce, ok := ds.Call.Fun.(*ast.CallExpr)
        if !ok {
            continue
        }

        se, ok := ce.Fun.(*ast.SelectorExpr)
        if !ok {
            continue
        }

        x, ok := se.X.(*ast.Ident)
        if !ok {
            continue
        }
        if (x.Name == a.tracePkg) && (se.Sel.Name == a.traceFunc) {
            // defer trace.Trace()()已存在，返回
            return false
        }
    }

    // 没有找到"defer trace.Trace()()"，注入一个新的跟踪语句
    // 在AST上构造一个defer trace.Trace()()
    ds := &ast.DeferStmt{
        Call: &ast.CallExpr{
            Fun: &ast.CallExpr{
                Fun: &ast.SelectorExpr{
                    X: &ast.Ident{
                        Name: a.tracePkg,
                    },
```

```
                    Sel: &ast.Ident{
                        Name: a.traceFunc,
                    },
                },
            },
        },
    }

    newList := make([]ast.Stmt, len(stmts)+1)
    copy(newList[1:], stmts)
    newList[0] = ds // 注入新构造的defer语句
    fd.Body.List = newList
    return true
}
```

虽然 addDeferStmt 函数体略长，但逻辑也很清晰，就是先判断函数是否已经注入了 Trace，如果有，则略过；如果没有，就构造一个 Trace 语句节点，并将它插入到 AST 中。

Instrument 的最后一步就是将注入 Trace 后的 AST 重新转换为 Go 代码，这就是我们期望得到的带有 Trace 特性的 Go 代码了。

利用 instrument 工具注入跟踪代码

有了 instrument 工具后，我们再来看看如何使用这个工具，在目标 Go 源文件中自动注入跟踪设施。

这里，我在 instrument_trace 项目的 examples 目录下建立了一个名为 demo 的项目，我们就来看看如何使用 instrument 工具为 demo 项目下的 demo.go 文件自动注入跟踪设施。demo.go 文件内容很简单：

复制代码

```
// instrument_trace/examples/demo/demo.go

package main

func foo() {
    bar()
}

func bar() {
}
```

```
func main() {
    foo()
}

```

我们首先构建一下 instrument_trace 下的 instrument 工具：

复制代码

```
$cd instrument_trace
$go build github.com/bigwhite/instrument_trace/cmd/instrument
$instrument version
[instrument version]
instrument [-w] xxx.go
  -w  write result to (source) file instead of stdout
```

接下来，我们使用 instrument 工具向 examples/demo/demo.go 源文件中的函数自动注入跟踪设施：

复制代码

```
$instrument -w  examples/demo/demo.go
[instrument -w examples/demo/demo.go]
instrument trace for examples/demo/demo.go ok
```

注入后的 demo.go 文件变为了下面这个样子：

复制代码

```
// instrument_trace/examples/demo/demo.go

package main

import "github.com/bigwhite/instrument_trace"

func foo() {
    defer trace.Trace()()
    bar()
}

func bar() {
    defer trace.Trace()()
}

func main() {
```

```
17      defer trace.Trace()()
18      foo()
19  }
```

此时，如果我们再对已注入 Trace 函数的 demo.go 执行一次 instrument 命令，由于 instrument 会判断 demo.go 各个函数已经注入了 Trace，demo.go 的内容将保持不变。

由于 github.com/bigwhite/instrument_trace 并没有真正上传到 github.com 上，所以如果你要运行 demo.go，我们可以为它配置一个下面这样的 go.mod：

复制代码

```
1
2
3  // instrument_trace/examples/demo/go.mod
4
5  module demo
6
7  go 1.17
8
9  require github.com/bigwhite/instrument_trace v1.0.0
10
11 replace github.com/bigwhite/instrument_trace v1.0.0 => ../../
```

这样运行 demo.go 就不会遇到障碍了：

复制代码

```
1 $go run demo.go
2 g[00001]:    ->main.main
3 g[00001]:        ->main.foo
4 g[00001]:            ->main.bar
5 g[00001]:            <-main.bar
6 g[00001]:        <-main.foo
7 g[00001]:    <-main.main
```

小结

到这里，我们已经实现了这节课开始时设定的目标：实现一个自动注入跟踪代码并输出有层次感的函数调用链跟踪命令行工具。

回顾一下这个工具的实现思路：我们先基于 defer 实现了一个最简单的函数跟踪机制，然后针对这个最简单的实现提出若干问题，接下来我们逐一把这些问题解决掉了，最终将第一版相对粗糙的代码实现演进重构为一个相对完善的命令行工具。

关于这个实战项目，有两点注意事项要和你交代清楚：

第一，在代码中注入函数调用跟踪代码仅适用于日常调试代码和阅读理解代码时使用，被注入了跟踪设施的代码是不适合上生产环境的；

第二，我在这里使用到了 Go 核心团队不推荐使用的 Goroutine id，这也是由这个实战项目的性质所决定的。如果你的代码是上生产，我建议还是尽量听从 Go 核心团队的建议，**不要依赖 Goroutine ID**。

思考题

通过 instrument 命令行工具对 Go 源文件进行注入后，defer trace.Trace()() 就会成为 Go 源码的一部分被编译进最终的可执行文件中。我们在小结中也提到了，开启了 Trace 的代码不要上生产环境，这样我们在构建上生产的应用之前需要手工删掉这些 Trace 代码，操作起来十分繁琐易错。

所以，这里我想请你为 Trace 增加一个开关功能，有了这个开关后，日常开发调试过程中编译出的程序中的 Trace 是起作用的，但为生产环境编译出的可执行程序中虽然也包含 Trace，但 Trace 不会真正起作用（提示：使用 build tag）。

欢迎你把这节课分享给更多对 Go 语言感兴趣的朋友。我是 Tony Bai，我们下节课见。

这个项目的源码在这里！

分享给需要的人，Ta订阅后你可得 20 元现金奖励

生成海报并分享

赞 1 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 加餐 | 聊聊Go 1.17版本的那些新特性

下一篇 期中测试 | 一起检验下你的学习成果吧

更多学习推荐

精选留言 (10)

写留言

Darren 神

2021-12-24

老师，问个小白的问题哈，就是Java和Python都支持注解增加能力，不会修改源代码。我看您这节课的最终版本，就是工具修改源代码，那么go有没有类似Java和Python那种注解的增强能力？如果没有，那么是因为什么原因不支持呀？

3

木木

2021-12-23

一个问题：老师代码里好几处用到了类似 fd, ok :=decl.(*ast.FuncDecl) 这种写法，看了一下，ast是package，FuncDecl是一个struct，decl是一个ast.Decl类型的变量，给我搞晕了。请问等号右边的意思是什么？

2

木木

2021-12-23

感谢，这节课觉得学到了很多。有个问题，在文中演示如何获得 Goroutine ID的trace例程里，waitGroup的作用是什么？我本来以为是像信号量一样的同步手段，但是想了一想发现并不是，因为wait在A1（ ）之后。如果wait在A1（ ）之前的话，可以保证让A2先执行完再执行A1。文中这种在A1（ ）之后wait（ ）的原因是什么？

展开

2

Geralt of Rivia

2021-12-23

思考题的一个思路：
在instrument_trace目录下新建一个config目录，里面有dev.go和prod.go两个文件：
dev.go
//go:build dev
package config...

展开

2

左耳朵东

2021-12-22

我生成的 demo.go 文件和老师一样，但执行的时候为什么报错：
examples\demo\demo.go:3:8: imported and not used: "instrument_trace"
examples\demo\demo.go:6:8: undefined: trace
examples\demo\demo.go:11:8: undefined: trace
examples\demo\demo.go:15:8: undefined: trace

展开

共 1 条评论 >

1

张申傲

2021-12-22

就喜欢这种实战，可以把前面的知识点都串起来，对于加深理解很有帮助~

1

bearlu

2021-12-22

老师，还有其他方式获取Goroutine ID？还是不建议使用Goroutine ID？

1

qinsi

2021-12-22

一些疑问：

1. 在输出带缩进的跟踪信息时，用一个map保存了不同goroutine的当前缩进。但似乎每个goroutine都只会访问自己的id对应的kv，不存在不同的goroutine访问同一个key的情况。这种情况下能否不加锁呢？...

展开

共 4 条评论 2

罗杰 神

2021-12-22

干货满满，这节的代码最好手动码出来，亲自好好感受一下。我们线上的环境基本上都是环境变量控制，go build 倒是从来没有使用过，这个也可以尝试一下。

1

lesserror

2021-12-24

感谢大白老师，这一讲的内容很有启发性。有几个小疑问，劳烦有时间回复一下：

1. 文中说："于是当 foo 函数返回后，这个闭包函数就会被执行。" 我想的是，这里是不是 foo 函数返回之前，闭包函数就会被执行呢？ foo 函数返回后，是不是代表这个函数已经执行完毕了？...

展开